

## 제주시 지역 대기분진의 화학적 조성 연구

강 창희·허 철구\*

### A Study on the Chemical Composition of Airborne Particulates Collected in Cheju City

Kang, Chang-Hee and Chul-Goo Hu\*

#### Abstract

The monitorings of airborne particulates were performed at three sites in Cheju Do, that is Cheju city, Kosan and Onpyung area. In order to evaluate the air pollution level, the collected airborne particulates were analyzed for some aquatic ions and metal components by ion chromatographic method and inductively coupled plasma spectrophotometry. From the results of chemical analysis, it was found that the atmosphere of Cheju city was a little bit more polluted than that of Kosan and Onpyung area. Especially for  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Pb, Fe components, Cheju city showed higher concentrations than other two places.

Whereas in comparison with Seoul and Pohang city, which are highly polluted places, Cheju city showed lower concentrations for the most components than those places, and especially much lower for  $\text{SO}_4^{2-}$ , Pb, Fe components.

#### 1. 서 론

급속한 산업화 정책으로 대부분의 국가들이 환경오염 문제에 직면해 있고, 우리나라도 대도시나 공단지역의 대기오염으로 환경파괴와 기상재해의 우려가 높아지고 있다. 대기오염물질은 기상

조건에 따라 장거리 이동이 가능하며, 확산 영역이 대단히 넓은 특성을 갖고 있기 때문에 대도시나 공단지역의 국지적인 대기오염이 결국은 전 대기환경을 파괴하게 된다. 지금까지 국내에서 수행된 환경관련 연구들을 보면 대부분 대기오염이 심한 오염지역 위주의 국지적인 대기오염도

제주대학교 자연과학대학 화학과

\* 제주대학교 해양과학대학 해양환경공학과

조사, 분석에 국한되고 있으며 청정지역의 대기 성분 배경농도 측정에 관한 연구는 크게 저조한 상태다. 청정 대기의 배경농도 측정은 대기환경의 장기적 변화를 예측하거나 인접 국가들의 영향을 평가하기 위한 중요한 자료로 활용될 수 있다. 제주도는 자체 오염원이 거의 없는 국내에서 가장 청정지역일 뿐만 아니라 지리적으로 인접한 일본과 중국의 중앙에 위치하여 이들 인접국들에 의한 오염 영향을 평가하는데 입지적으로 아주 중요한 지역이다. 따라서 제주도의 대기성분 분석 자료들은 대기환경의 장기적 변화에 대한 연구나 인접 국가들의 영향을 평가하기 위하여 중요한 기초자료로 활용될 수 있으며 지속적인 측정과 자료 수집이 이루어져야 할 것으로 보인다.

대기 성분은 인체나 기후변화 등에 많은 영향을 미치는 아황산가스, 질소산화물, 이산화탄소, 오존 등 기체상 오염물질과 먼지, 매연, 훈연, 스모그 등 부유 입자상 오염물질로 분류된다. 부유분진은 강수의 응결핵으로 작용하거나 태양 광선을 차단하는 등의 기후변화를 일으키거나 기관지염, 천식, 진폐증 등 양적인 특성에 따라 나타나는 일반적인 영향외에 화학적 조성에 따라 폐암, 중금속 중독현상 등을 유발하기도 한다. 특히 부유분진은 발생과정이나 주위에 분포한 오염원, 기상조건 등에 따라 그 조성이 다양하게 변하므로 피해 양상을 예측하거나 발생원을 추적하기 위해서는 이의 화학적 조성에 대한 연구가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 청정지역의 환경대기 중에 부유하는 분진의 화학적 조성을 파악하기 위해 1991년 11월 21일부터 1992년 1월 16일까지 약 2개월 동안 제주시에서 부유분진을 채취하여 수용성 이온성분과 금속성분의 농도를 분석하고, 이 결과를 제주도내에서도 제주시에 비해 상대적으로 청정한 지역에 속하는 북제주군 고산 지역과 남제주군 온평 지역에서 채취한 대기분진의 성분

분석 결과와 비교, 검토하였다. 또 이 결과들을 국내에서 비교적 오염도가 높고, 오염물질 발생원의 특성이 서로 다른 서울, 포항 지역의 측정 결과와 서로 비교하였다.

## 2. 실험 방법

### 1) 분진 시료의 채취

#### 1-1) 채취 시기 및 장소

제주시 대기분진 채취는 1991년 11월 21일부터 1992년 1월 16일까지 57일 동안 연속적으로 3차에 걸쳐 포집하였으며, 1차는 1991년 11월 21일부터 12월 3일까지, 2차는 12월 3일부터 12월 20일까지, 3차는 1991년 12월 20일부터 1992년 1월 16일까지 제주대학교 자연과학대학 건물 옥상(북위 33°27', 동경 126°34')에서 채취하였다. 또 도내에서도 가장 청정지역인 북제주군 고산 지역(북위 33°17', 동경 126°10')의 분진시료는 1992년 7월 11일부터 7월 21일까지 10일 동안 한경면 고산리에 위치한 수월봉에서 채취하였고, 남제주군 온평 지역(북위 33°23', 동경 126°54')의 시료는 성산읍 온평리 해안가에서 1991년 11월 1일부터 11월 9일까지 9일 동안 채취하였다.

#### 1-2) 분진 시료의 채취 방법

대기분진시료는 University of Miami의 해양 대기과학연구소 해양대기화학부에서 직접 설계, 제작한 High Volume Sampler (Model 400EL)를 사용하여 채취하였다. 이 Sampler의 특징은 Wind Monitor가 부착되어 있어서 풍향 및 각도를 임의로 조절하여 원하는 풍향과 지정한 각도 내에서 시료를 채취할 수 있도록 설계되어 있다.

제주시 대기분진시료는 제주대학에서 북쪽을 향

하도록 설치하여 제주 시내에서 제주대학 방향으로 북서풍 바람이 불 때만 분진이 포집되도록 하였다. 청정대기의 분진시료는 고산의 경우 북서 방향으로 설치하여 북서풍 즉 바다에서 한라산 방향의 풍향일 때만, 온평의 경우 북동향으로 설치하여 북동풍 즉 바다에서 한라산 방향의 풍향일 때만 시료를 포집하였다. 이때 기기작동조건은 세 위치 모두 동일하며 GND-TP3=0.633Volt / GND-TP2=2.52Volt, Slide S/W = "North Not Included", Wind Acceptance Sector = 135°이다. Sampler에 사용된 필터는 Whatman No. 41 (20.3×25.4cm)로 정량용 셀룰로스필터이며, 공기흡입량은 0.82~0.88m<sup>3</sup>/min의 유속이 되도록 하였다.

## 2) 분진시료의 성분분석

### 2-1) 사용 기기

수용성 이온과 금속성분의 함량 분석에는 DIONEX사 Model 4000i, Ion Chromatograph(IC) 및 JOBIN YVON사 Model JY70 Type II, Inductively Coupled Ar Plasma Spectrometer(ICP)를 사용하였다. 수용성 이온의 분석에 사용된 IC의 경우 음이온분석에는 HPIC-AS4A 음이온 분리관, 2.8mM NaHCO<sub>3</sub>와 2.2mM Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 용리액, 25 mN H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>의 Suppressor 재생용액, Conductivity Detector를 사용하여 1.2mL/min의 유속으로 분석하였다. 또 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 경우 IonPac CS10 양이온 분리관, 20mM HCl의 용리액, 50mM Ba(OH)<sub>2</sub>의 Suppressor 재생용액, Conductivity Detector를 사용하여 1.0mL/min의 유속으로 분석하였다. 금속성분 분석에 사용된 ICP의 경우 Plasma Gas 유속 = 12L/min, Carrier/Coolant Gas 유속 = 0.4L/min, Frequency = 1.3KW의 기기조건으로 분석하였다. (E. L. Johnson, 1986)

### 2-2) 분석 방법

필터에 포집된 분진시료는 밀봉한 상태로 4℃ 냉장실에 보관하였고, 각 필터들은 정확히 반으로 잘라서 하나는 수용성 이온성분, 다른 하나는 금속성분 분석에 이용하였다.

수용성 이온성분은 필터를 잘게 절단하고 초순 수제조장치로 정제한 증류수 50mL에 침적시켜 Shaker에서 2시간 30분 동안 진탕한 후 0.45 μm Membrane Filter로 여과하여 IC 및 ICP 법으로 분석하였다. (村野健太郎, 1983 : K. Sasaki *et al.*, 1988 : J. Mulik *et al.*, 1976 : M. Nishikawa *et al.*, 1986)

또한 금속성분은 필터를 잘게 절단한 후 Water Cooling Condenser가 연결된 플라스크에서 16M HNO<sub>3</sub> 15mL와 6M HCl 70mL의 혼합용액 85mL에 침적시켜 1시간 동안 약 90℃에서 환류시킨 후 Shaker에서 30분간 진탕하여 역시 0.45 μm Membrane Filter로 여과한 후 여액을 ICP 법으로 분석하였다. (N. R. McQuaker *et al.*, 1979 : H. Mukai *et al.*, 1990 : 이 민 회, 1990)

## 3. 결과 및 고찰

### 1) 대기분진의 배출원

대기 부유분진의 성분인 토양입자, 해염입자, 탄화물질 등은 여러 유해성 물질들 즉, 중금속, 각종 이온성 물질, 다환방향족탄화수소를 비롯한 발암성 유기물질들을 흡착 또는 내포한 상태로 존재하며, 5 μm 이상의 입자들은 대부분 호흡시 코의 점막 등에 의해 제거되지만 2.5 μm 미만의 미세입자들은 호흡시 쉽게 폐속으로 침투된다. 폐속으로 침투된 미세입자들은 규폐증, 진폐증, 탄폐증, 폐종양 등의 폐질환, 기관지염, 기관지 천식 등의 호흡기질환 또 폐암 등 발암의 원인이

되기도 하며 이밖의 대사 장애, 소화기 장애, 정신신경 장애, 시력 감퇴 등 대기오염이 인체에 미치는 피해는 대단히 크다. (안 기희, 1988 : 이용근, 1990)

본 연구에서는 이러한 분진성분 중에  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ 의 수용성 음이온,  $NH_4^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ 의 수용성 양이온 및 Fe, Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, Mn, Ni의 금속성분을 정량분석하였으며 이러한 성분들이 대기 중에 유입되는 원인을 살펴보면 다음과 같다.

우선 인위적인 요인들에 의한 배출원을 보면 산업체, 자동차, 대형건물, 주택 등에서 주로 발생하는 성분들로  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , Pb, Cu, Cd, Ni, Zn 등을 들 수 있고, 이들은 주로 석탄, 석유 등 화석연료의 사용으로 인해 발생되어 대기로 유입된다. 또 자동차의 급속한 증가는 연료 연소시에 다량의  $NO_x$ ,  $SO_x$ 를 방출시켜  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ 의 농도를 크게 증가시키는 요인이 되고 있으며(K. Murano *et al.*, 1981), Pb, Cr, Cd, Ni 등 중금속도 자동차 배기가스로부터 발생된다. 특히  $SO_4^{2-}$ 는 직접 대기 중으로 방출되는 1차 입자와  $SO_2$ 가 대기 중에서 산화반응에 의해 생성되는 2차 입자로 분류되며 보통  $2\mu m$  이하의 미립자로 폐포까지 깊숙히 침투하여 호흡 곤란 등 폐질환의 직접적인 원인이 된다. 이외에도 폐기물 소각 등 인위적 요인에 의한 성분들의 경우 소각물질의 종류나 공단지역, 주택지역별로 화학 성분들은 차이가 있지만 대부분  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , Zn, Cu 등의 성분을 공통적으로 유출시키는 것으로 알려져 있고, Cr, Cd, Mn, Ni 등도 배출될 수 있다.

자연적인 발생 요인들로는 크게 지각 구성 성분인 토양입자, 해양에서 발생하는 해염입자, 화산 활동에 의한 화산재 등을 들 수 있다. 토양입자의 경우  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ , Fe, Mn, Cr 등을 포함하며 유기물 분해, 비료 성분 등에 의해  $NH_4^+$

도 함유될 수 있다. 해염입자는  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  등의 주로 수용성 이온들을 함유하며, 화산재는 다량의  $SO_x$ 외에 많은 종류의 대기오염 물질을 방출하는 것으로 알려져 있다. (T. Okita, M. Okuda and K. Murano, 1986 : 안 기희, 1988 : 최 만식 등, 1989 : 김 여옥, 1992)

## 2) 제주도 지역 대기분진의 화학적 조성

제주도의 경우 전체적으로 다른 지역에 비해 국내에서는 가장 청정한 지역이다. 그러나 도내에서는 제주시가 비교적 다른 지역에 비해 대기오염이 심한 것으로 나타나고 있다. 제주시의 경우 상대적으로 좁은 면적에 도내 전체 인구 514,608명 중 45% 이상이 거주하고 있으며, 총 가구 수 131,387 중 61,437 가구가 집중되어 면오염원의 약 47%를 차지한다(1990년 12월 기준). 또 산업시설, 대형 숙박시설 등 점오염원이 64% 이상 집중되어 있으며, 대기오염의 가장 큰 요인인 자동차도 총 등록대수 51,008대 중 29,125대를 제주시에 보유하여 이동오염원 역시 57% 이상이 집중되어 있다(1991년 9월 30일 기준).  $SO_2$ ,  $NO_2$ , CO, HC, TSP 등 주요 대기 오염 물질 배출량도 연간 총 45,717ton 중에서 44% 이상이 제주시에 발생되고 있다(환경처, 1990; 제주도, 1991). 반면 북제주군 고산 지역이나 남제주군 온평 지역은 제주시에 비해 상대적으로 이러한 오염원이 거의 없는 청정지역이다.

제주시, 고산 및 온평 지역에서 채취한 대기분진 중 수용성 음이온을 분석하여 비교한 결과를 Table 1 및 Fig. 1에 나타내었다.  $Cl^-$ 의 농도는 제주시의 경우 평균  $6.246\mu g/m^3$ , 온평이  $7.502\mu g/m^3$ , 고산은  $2.534\mu g/m^3$ 으로 온평 지역이 가장 농도가 높은 것으로 나타났다. 온평의 경우 해안가에서 시료를 채취하였고, Sampler 위치도

Table 1. Concentrations of anionic components in the atmosphere on Onpyung, Cheju city and Kosan sites.

Site	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
ONPYUNG	7.502	2.012	4.860
CHEJU (1)	7.900	2.952	7.938
CHEJU (2)	5.142	1.988	8.346
CHEJU (3)	5.696	3.666	8.680
KOSAN	2.534	1.811	6.040

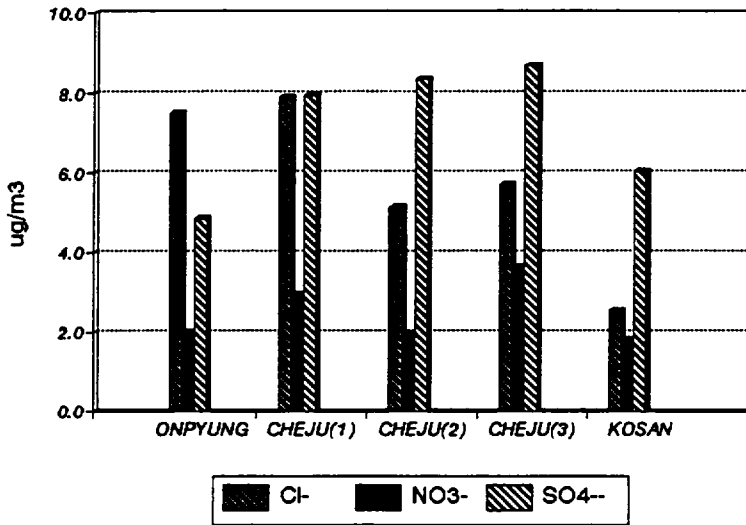


Fig.1 Graphical comparison for the concentrations of anionic components in the atmosphere on Onpyung, Cheju city, and Kosan.

해발고도 약 10m 내외로 제주시 약 300m, 고산 약 80m에 비해 낮게 설치되었다. 이러한 이유로 해수 미세방울이 유입됐을 가능성도 배제할 수 없지만 다른 지역에 비해  $\text{Cl}^-$ 의 농도가 높게 나타나는 것으로 보아 온평 지역의 대기분진 중에

는 해염입자의 함량이 높은 것으로 판단된다.  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 경우 제주시가 평균  $8.321\mu\text{g}/\text{m}^3$  인 반면 온평이  $4.860\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 고산이  $6.04\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 온평, 고산이 더 청정한 것으로 나타났으며,  $\text{NO}_3^-$  역시 제주시가 평균  $2.869\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 온평이  $2.012\mu$

g/m<sup>3</sup>, 고산이 1.811μg/m<sup>3</sup>으로 온평, 고산이 더 청정도가 높은 것으로 확인되었다. 제주시의 경우 다른 두 지역보다 점오염원, 면오염원 및 이동오염원이 집중되어 있고, 측정 결과에서 이들 농도가 제주시에서 더 높게 나타나는 것으로 보아 제주 지역 대기의 SO<sub>2</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 배출원은

주로 자연적인 요인보다는 자동차, 난방연료 등 인위적인 요인에 기인하는 것으로 판단된다.

분진 중 수용성 양이온의 분석결과를 Table 2, Fig.2에 서로 비교하였다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 경우 제주시, 고산, 온평 순으로 제주시가 가장 높게 나타나고 있으며 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 발생원은 미생물의 유기물

Table 2. Concentrations of cationic components in the atmosphere on Onpyung, Cheju city and Kosan sites.

Site	Concentration (μg/m <sup>3</sup> )				
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
ONPYUNG	0.902	4.540	1.390	1.378	2.938
CHEJU (1)	2.457	4.076	0.438	1.306	0.324
CHEJU (2)	2.078	3.356	0.360	0.896	0.296
CHEJU (3)	1.069	5.868	0.624	1.020	0.806
KOSAN	1.862	1.888	0.310	0.144	0.206

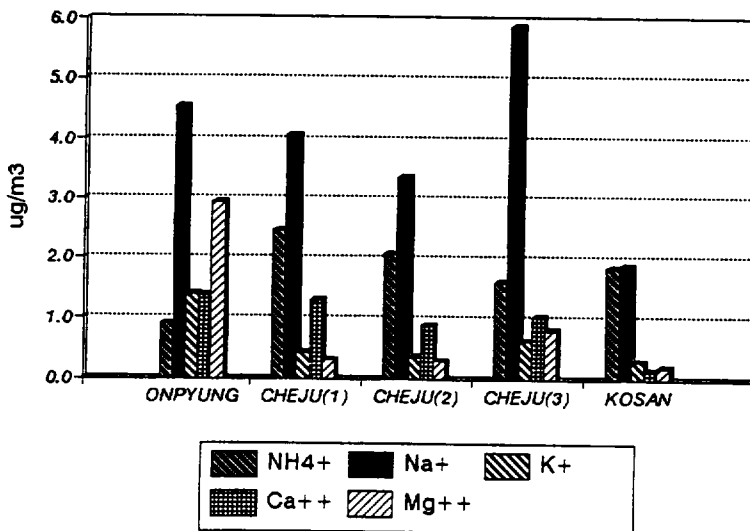


Fig. 2 Graphical comparison for the concentrations of cationic components in the atmosphere on Onpyung, Cheju city, and Kosan.

분해, 동물의 배설물 등 주로 자연적인 요인에 의해 생성되며 해염입자나 토양입자 등에 함유될 수 있고, 질소화합물의 환원으로 인위적인 요인에 의해서 생성될 수도 있다고 알려져 있다(H. Mukai *et al.*, 1989). 또  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  농도는 청정지역이면서도 온평지역이 높게 나타나고 있는데 이것은  $\text{Cl}^-$ 과 함께 해염입자의 주성분들이고 대기분진 중에는 비교적 많은 해염입자가 포함되어 있는 것으로 추정된다. 제주시와 고산 지

역 대기의 이들 농도를 비교해 보면 고산이 훨씬 낮으며 특히  $\text{Ca}^{2+}$ 의 경우 6배 정도 더 낮게 나타났다.  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 의 발생원이 주로 해염입자이고  $\text{Ca}^{2+}$ 는 주로 토양입자의 성분인 점으로 미루어 보아 제주시 대기 중에는 토양입자와 해염입자가 더 많이 부유되어 있는 것으로 판단된다.

또한 Table 3, Fig. 3에 전이금속원소들의 함량을 비교하였다. Pb, Cu, Cd, Zn, Ni 등은

Table 3. Concentrations of metallic components in the atmosphere on Onpyung, Cheju city and Kosan sites.

Site	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )							
	Fe	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	Mn	Ni
ONPYUNG	0.128	0.040	0.355	0.012	ND	ND	0.012	ND
CHEJU (1)	0.655	0.114	0.503	0.020	ND	0.012	0.070	0.018
CHEJU (2)	0.851	0.078	0.476	0.006	ND	ND	0.042	0.020
CHEJU (3)	0.542	0.142	0.253	0.008	ND	ND	0.026	0.004
KOSAN	0.356	0.062	0.321	0.004	ND	ND	0.010	0.004

ND (Not Detected)

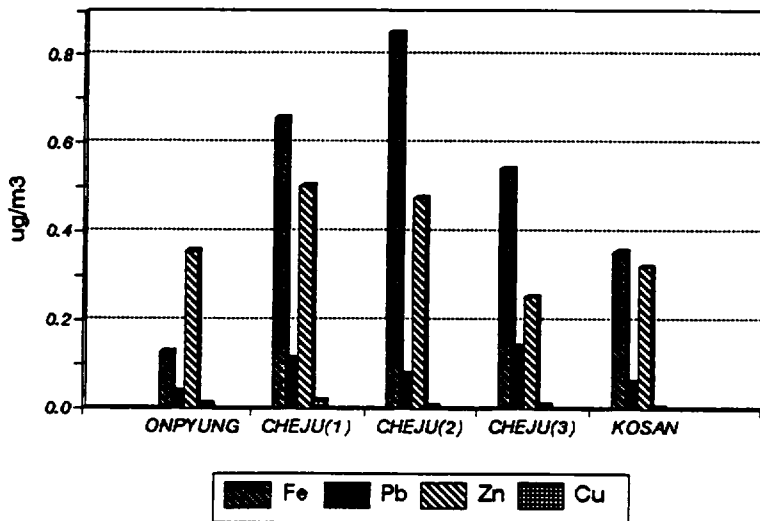


Fig. 3 Graphical comparison for the concentrations of metallic components in the atmosphere on Onpyung, Cheju city, and Kosan.

자동차, 산업활동, 난방연료의 사용 등 인위적인 요인에 의해 발생되는 성분들이고 Fe, Cr, Mn 등은 주로 토양입자나 해염입자에 함유된 자연적 요인에 의한 성분원소들이다. Fig. 3에서 Fe, Pb, Zn 농도는 제주도 지역이 고산, 온평 보다 높게 나타났고, 미량농도이긴 하지만 Cu도 제주도 지역이 더 높은 결과를 나타내었다. 이러한 결과로부터 인위적인 요인은 물론 자연적인 요인에 의한 오염도 제주도 지역이 더 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이외의 Mn 농도 역시 극미량

이긴 하지만 제주도 지역에서 농도가 더 높게 나타났으며 Cr, Cd, Ni은 제주도, 온평, 고산 모두에서 거의 검출되지 않거나 아주 극미량으로 존재하는 것으로 확인되었다.

### 3) 분진조성에 미치는 지상풍의 영향

시료 채취 기간인 1991년 11월부터 1992년 1월까지, 또 1992년 7월의 제주도, 온평, 고산 지역의 월별 지상풍의 방향 및 풍속을 바람장미로 표시하여 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보면

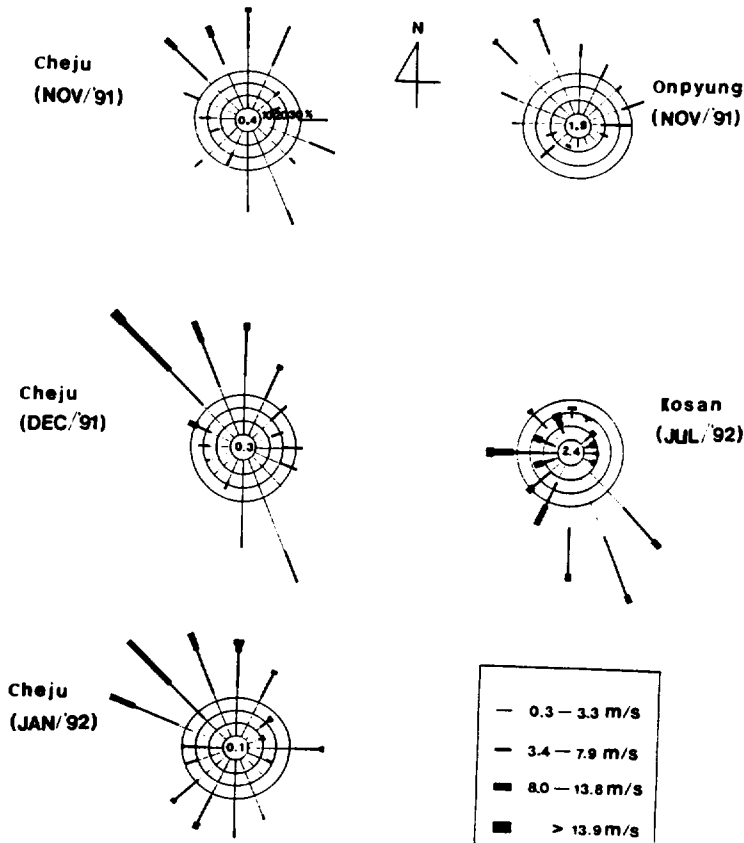


Fig. 4 Monthly wind rose at Cheju city, Onpyung and Kosan.



1991년 11, 12월에 제주도 지역에서는 주로 북서풍 계열의 바람이 빈도가 높고, 3.4~13.8m/sec의 비교적 강한 바람이 불었기 때문에 대기 이동이 제주 시내에서 제주대학 방향으로 이동했음을 알 수 있고 제주 시내의 분진이 적절히 포집됐을 것으로 판단된다. 제주시의 분진분석 결과에서  $\text{Na}^+$  및  $\text{Cl}^-$  농도가 예상보다 높게 나타나는 것은 이러한 강한 풍속의 영향으로 해양의 해염입자가 다량으로 이동하여 제주도 대기에 유입된 영향일 것으로 판단된다. 또한 1991년 11월의 온평 지역에서는 3.4~7.9m/sec의 약하기는 하나 주로 북서풍 계열의 바람 빈도가 높고, 이러한 풍향의 영향으로 바다에서 제주도 내륙으로 분진이 이동했을 것으로 예상된다. 이러한 결과로 해염입자가 다량으로 이동하여  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  농도가 높게 나타난 것으로 보이며, 바람방향은 해양의 청정대기 분진포집에 적합했던 것으로 판단된다. 1991년 7월의 고산 지역에서는 3.4~13.8m/sec의 비교적 강한 바람이 동남~서남풍으로 가끔씩 나타나고 있으며 이러한 결과로 다소 내륙의 분진입자들이 유입되었을 가능성도 있는 것으로 보인다. 또 이러한 바람 방향 때문에 해염입자에 기인하는  $\text{Na}^+$  및  $\text{Cl}^-$  농도는 다른 지역보다 비교적 낮게 나타났을 것으로 추정된다.

이와 같이 바람 방향, 오염성분의 계절적 변화 등을 고려하면 세 측정 위치에서 같은 시기에 동시에 시료를 채취하여 상대비교하는 것이 훨씬 바람직하나 본 연구의 경우 한 대의 Sampler를 사용하였기 때문에 채취시기가 각각 다르므로 아주 정확한 비교가 어려운 문제점이 있었다.

#### 4) 지역 특성에 따른 분진조성 비교

국내에서 가장 오염도가 높고 상대적으로 내륙이면서 인구 밀집 지역인 서울, 대표적인 공단지역이면서 제철공업 단지인 포항시 및 제주시의

분진조성 분석결과를 비교하여 Table 4, 5와 Fig. 5, 6에 나타내었다. 서울 지역의 분진시료는 1991년 5월부터 10월까지 서울시내 영등포구, 마포구, 관악구의 4개 동, 7개 위치에서 시료를 채취, 분석한 결과이고, 포항 지역의 분진시료는 1990년 8~12월, 1991년 2~3월의 포항시 공단 지역에서 시료를 채취하여 분석한 결과이다(윤여욱, 1992; S. O. Baek *et al.*, 1991). 비금속성분인  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ 의 농도를 지역별로 비교한 Fig. 5에서 보면 대기오염의 가장 주요성분이며 인위적 오염인자인  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도가 포항, 서울에 비해 제주시가 훨씬 낮게 나타나고 있고,  $\text{NO}_3^-$  역시 서울보다 훨씬 낮은 것으로 나타났다. 반면에  $\text{Cl}^-$ 은 해안에 접한 제주도, 포항시가 오히려 서울보다 높아 상대적으로 대기 중 해염입자의 양이 많은 것으로 추정된다.

Fig. 6의 비교 그래프를 보면 금속성분의 경우 제철공업단지인 포항에서 Fe의 농도가 무척 높게 나타나며, 주로 자동차의 연료 연소시에 방출되는 것으로 알려진 Pb는 서울시, 포항시, 제주시의 순이고 서울이 훨씬 높은 것으로 나타났다.

또 국내 대도시인 부산 지역 지하상가의 분진분석 결과를 보면 이러한 Pb의 농도가 1988년 1월 조사결과 0.219~3.116 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Cr 농도가 0.387~4.098 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 조사되었다(이채연, 1989). 이러한 결과들로부터 서울시, 포항시는 물론 부산과 같은 대도시의 경우 제주시에 비해 인위적 요인에 의한 오염원의 영향을 훨씬 더 많이 받고 있음을 알 수 있었다.

대체적으로 제주도 대기는 비교된 다른 지역들에 비해 훨씬 청정한 상태인 것으로 판단된다. 그러나  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ , Fe, Pb, Zn, Mn

등의 농도가 예상했던 것보다는 다소 높게 나타났으며 이러한 요인 중 한 가지로 시료채취 장소인 자연과학대학 건물 북쪽편에 건물과 근접한

Table 4. Concentrations of nonmetallic components in the atmosphere on Cheju City, Seoul City and Pohang City.

Area	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )							
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Cheju City	6.246	2.896	8.321	1.868	4.433	0.474	1.074	0.475
Seoul City	3.598	4.938	22.215	4.899	3.065	0.563	2.736	0.362
Pohang City	6.400	3.200	26.600	2.500	*	1.104	*	1.056

\* (Not Analyzed)

Table 5. Concentrations of metallic components in the atmosphere on Cheju City, Seoul City and Pohang City.

Area	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )							
	Fe	Pb	Zn	Cu	Cr	Cd	Mn	Ni
Cheju City	0.683	0.111	0.411	0.011	ND	ND	0.046	0.014
Seoul City	0.934	0.336	0.905	0.091	0.026	0.005	0.042	0.045
Pahang City	5.719	0.165	0.460	*	*	*	0.055	0.016

ND (Not Detected)

\* (Not Analyzed)

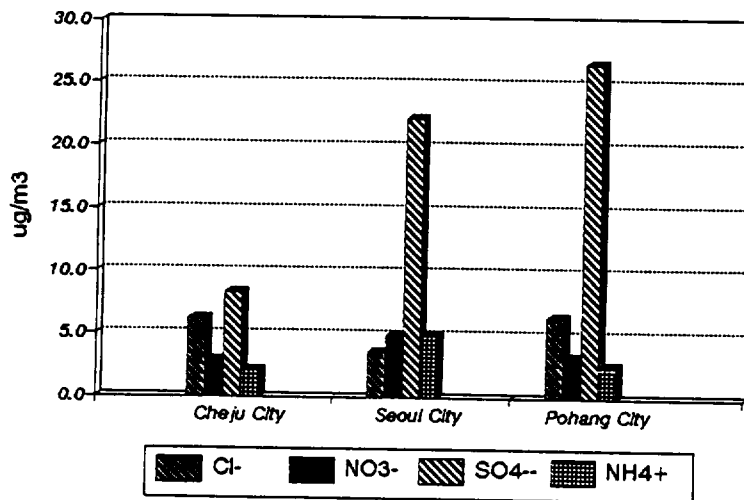


Fig. 5 Graphical comparison for the concentrations of nonmetallic components in the atmosphere on Cheju city, Seoul city and Pohang city.

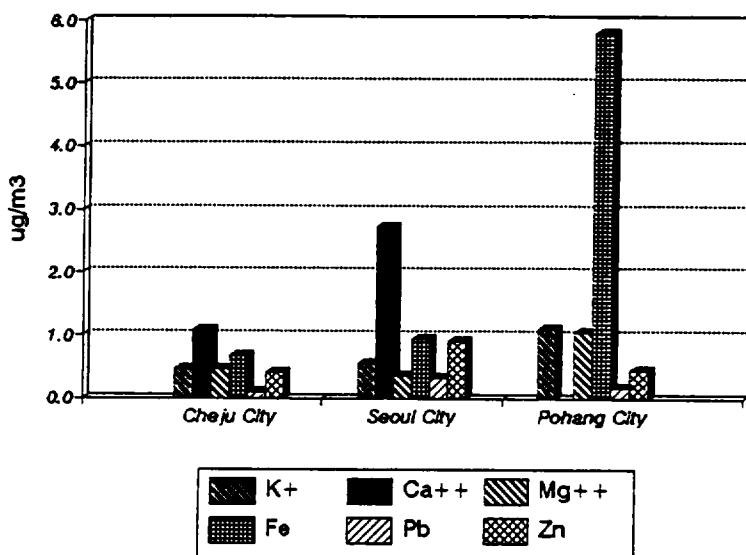


Fig.6 Graphical comparison for the concentrations of metallic components in the atmosphere on Cheju city, Seoul city and Pohang city.

쓰레기 소각장이 있고, 주 1회 정도 쓰레기를 소각하기 때문에 이로 인한 영향도 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

청정 지역인 제주 지역 부유분진의 화학적 조성을 파악하기 위하여 제주시를 중심으로 제주도 내 3개 지점에서 채취한 부유분진 중의 수용성 음이온, 수용성 양이온 및 금속성분의 농도를 측정하여 비교, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 제주도 지역과 상대적으로 청정한 고산, 온평 지역의 대기분진을 분석하여 각 성분들의 조

성을 비교한 결과  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ , Pb, Fe 등 인위적 요인에 기인하는 성분의 농도는 제주도 지역이 다른 지역에 비해 높게 나타났다.

2) 국내에서 가장 오염도가 높은 서울시, 대표적 공업지역인 포항시 및 제주시의 대기분진 조성을 비교한 결과 제주시가 훨씬 청정한 것으로 나타났고, 특히  $SO_4^{2-}$ , Fe, Pb 등의 농도에서 큰 차이를 보였다.

3) 바람 방향, 오염성분의 계절적 변화에 의한 상대비교의 오차를 줄이기 위해서는 여러 개의 Sampler를 사용하여 같은 시기에 동시에 시료를 채취하여야 할 것으로 보이며, 제주도와 도내 청정지역의 비교 데이터도 이러한 동시 채취가 이루어진다면 훨씬 더 정확한 자료를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. E. L. Johson, 1986, Handbook of Ion Chromatography, *Dionex Corporation*, 23~97.
2. 村野健太郎, 1983, イオンワロマガライボによね環境試料の分析, *ぶんせき*, 12, 919~924.
3. K. Sasaki *et al.*, Behavior of Sulfate, Nitrate and Other Pollutants in the Long-Range Transport of Air Pollution, *Atmospheric Environment*, 22 (7), 1301~1308.
4. J. Mulik, R. Puckett, D. William and E. Sawicki, 1976, Ion Chromatographic Analysis of Sulfate and Nitrate in Ambient Aerosol, *Anal. Chem.*, 9, 653~663.
5. M. Nishikawa, Y. Ambe and S. Chubachi, 1986, Concentration of Trace Element in Surface Snow in the Area near Syowa Station, Antarctica, *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 45, 47~55.
6. N. R. McQuaker, D. F. Brown and P. D. Klucker, 1979, Digestion of Environmental Materials for Analysis by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry, *Anal. Chem.*, 51, 1082~1084.
7. H. Mukai *et al.*, 1990, Long-Term Variation of Chemical Composition of Atmospheric Aerosol on the Oki Island in the Sea of Japan, *Atmospheric Environment*, 24A (6), 1379~1390.
8. 李 敏熙, 1990, 環境汚染公定試験法解説: 배출허용기준 시험방법, 新光出版社, 437~444.
9. 안 기희, 1988, 환경과학론: 환경오염과 환경 파괴, 안국출판사, 42~59.
10. 이 용근, 1990, 환경과 인간: 대기권, 자유아카데미, 73~135.
11. K. Murano, K. Izumi, M. Mizuochi, I. Uno, S. Wakamatsu, and M. Okuda, 1981, Sulfate and Nitrate Concentration in Aerosol above Kanto Area, *Chemistry Letters, The Chemical Society of Japan*, 1037~1040.
12. T. Okita, M. Okuda and K. Murano, 1986, The Characterization and Distribution of Aerosol and Gaseous Species in Winter Monsoon over the Western Specific Ocean, *Journal of Atmospheric Chemistry, D. Reidel Publishing Co.*, 343~358.
13. 최 만식, 조 성록, 이 동수, 1989, 서해안 대기분진의 화학조성 및 기원에 대한 연구, 한국대기보전학회지, 5(2), 72~83.
14. 김 여옥, 1992, 실내외 분진 중의 화학성분에 관한 연구, 한양대학교 환경과학대학원 석사학위 논문, 39~46.
15. 제주도, 1991, 제주도 통계 연보
16. 환경처, 1990, 대기오염물질 배출량 연례보고서
17. H. Mukai *et al.*, 1989, 隠岐島における大氣粉じん成分の長期的變動, 國立公害研究所研究報告, 第123號, 7~50.

18. S. O. Baek, C. H. Lee and Y. K. Park, 1991, Source Apportionment of Atmospheric Particulate Matter in an Industrial City in Korea using a Multivariate Technique, *Emerging Issues in Asia. Proceeding of the 2nd IUPPA Regional Conference on Air Pollution*, Vol. 2, *Korea Air Pollution Research Association*, 239~247.
19. 이 채언, 문 덕환, 조 병만, 김 준연, 배 기철, 1989, 부산지역 지하상가의 대기오염도에 관한 연구, *한국대기보전학회지*, 5 (1), 22~32.